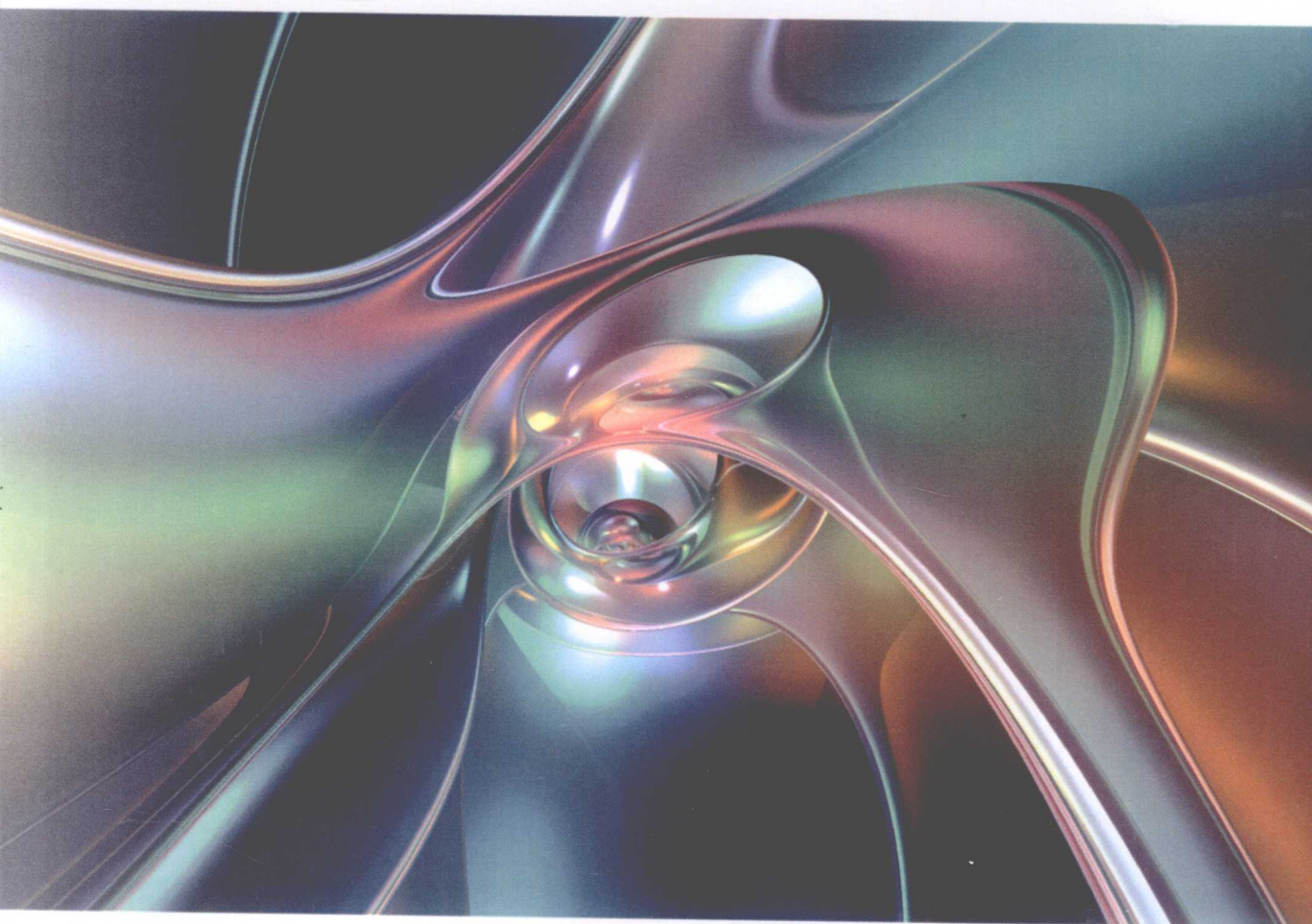


21 世纪高等工程教育用书

机械 工程基础

李育文 主编



西安地图出版社

内容提要

全书共分 25 章,主要包括工程力学、金属材料及其成形技术、机械设计基础、液压与气压传动四个部分。在工程力学部分中,包括静力学基础和材料力学基础两个方面,其中静力学基础主要讨论构件的受力与平衡,材料力学基础主要讨论构件在外力作用下的变形及强度、刚度计算。在机械设计基础部分,主要介绍平面连杆机构、凸轮机构、以及带传动和齿轮传动、轮系等。在金属材料及其成形技术部分中,主要介绍金属材料与热处理基础知识,常用工程材料的牌号、性能及应用,以及金属液态成形、塑性成形和连接成形的基础知识。在液压和气压传动部分,主要介绍了液压元件和气压元件、基本回路、液压伺服系统等内容。

本书可作为高等学校非机类专业、高等专科学校机类专业的教学用书,亦可作为中职、中专学校相应专业的教学用书和相关工程技术人员、工厂管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程基础/李育文主编. —西安:西安地图出版社, 2009.5

ISBN 978 - 7 - 80748 - 418 - 9

I .机… II .李… III .机械工程 - 基础知识 IV .TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 077692 号

机械工程基础

李育文 主编

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码:710054)

新华书店经销 黄委会勘测规划设计研究院印刷厂印刷

787 毫米×1092 毫米 1/16 开本 33 印张 845 千字

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 80748 - 418 - 9

定价:38.00 元

前 言

机械工程是以有关的自然科学和技术科学为理论基础,结合生产实践中的技术经验,研究和解决在开发、设计、制造、安装、运用和修理各种机械中的理论和实际问题的应用学科。

机械工程学科经历了一个不断发展的过程。十八世纪后期,蒸汽机的应用从采矿业推广到纺织、面粉和冶金等行业,制作机械的主要材料逐渐从木材改为金属,机械制造业开始形成,并逐渐成为重要产业。十九世纪初,研究机械中机构结构的机构学第一次列为高等工程学院的课程。从十九世纪后半期起,开始设计和计算材料的疲劳,随后断裂力学、实验应力分析、有限元法、数理统计、电子计算机等相继被用在设计计算中。十九世纪下半叶,机械工程成为一门独立学科。进入二十世纪,随着机械工程技术的发展和知识总量的增长,机械工程开始分解,陆续出现了专业化的分支学科,分解趋势在二十世纪中期达到高峰。从二十世纪后期开始,机械工程又出现了综合的趋势,人们更多地关注基础理论,拓宽专业领域,合并分化过细的专业。

本书根据对机械类专业人才培养的需要,将工程力学、机械设计基础、金属材料及其成形技术、液压和气压传动等四门技术基础课程进行有机整合,通过机械设计中的常用受力分析,常用材料的性能和选用,机器的组成、运动分析,常用零件的功能、结构,通用零件的选用和非标准零件的设计,液压和气压传动在工程中的使用等为主线,使学生由浅入深、形象直观地感受机械零件和结构,提高学生综合分析问题和工程实际使用的能力。

本书由郑州轻工业学院李育文任主编,郑州轻工业学院郭长江、杨新宇、宋学谦、姚建松、李继光、蒋玮、沈晓滨任副主编,郑州轻工业学院朱茹敏、侯月玲、姬鹏先、白代萍、杨春燕任编委。具体撰写情况如下:

李育文(第七章、第十五章、第二十章、附录),郭长江(第二十四章),杨新宇(第五章、第十七章),宋学谦(绪论、第六章、第十一章),姚建松(第三章、第二十一章),李继光(第十六章,第二十三章),蒋玮(第四章、第十二章),沈晓滨(第九章,第二十五章),朱茹敏(第一章、第十四章),侯月玲(第二章、第十章),姬鹏先(第八章、第二十二章),白代萍(第十八章、第十九章),杨春燕(第十三章)。

本书在撰写过程中参考了一些相关书籍,在此特向参考文献的各位著作者致以衷心的感谢!由于编者的水平有限,书中不足在所难免,恳请读者指正。

编 者
2009年1月

目 录

绪论	(1)
第一章 静力学公理和物体的受力分析	(3)
§ 1.1 力的概念	(3)
§ 1.2 静力学公理	(4)
§ 1.3 约束和约束反力	(6)
§ 1.4 物体的受力分析和受力图	(10)
习 题	(12)
第二章 平面力系的合成与平衡	(15)
§ 2.1 平面汇交力系的概念及合成运算	(15)
§ 2.2 力对点之矩	(17)
§ 2.3 力偶的概念及其运算法则	(20)
§ 2.4 平面任意力系向作用面内一点简化	(24)
§ 2.5 平面任意力系的简化结果分析	(27)
§ 2.6 平面任意力系的平衡方程及其应用	(28)
§ 2.7 静定与静不定问题及物体系统的平衡	(32)
§ 2.8 平面静定桁架内力的计算	(35)
习 题	(37)
第三章 空间力系	(44)
§ 3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(44)
§ 3.2 空间汇交力系的合成与平衡	(46)
§ 3.3 力对轴之矩	(48)
§ 3.4 空间任意力系的平衡方程	(49)
§ 3.5 空间力系平衡问题举例	(50)
§ 3.6 平行力系中心和重心	(52)
习 题	(58)
第四章 拉伸和压缩	(60)
§ 4.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	(60)
§ 4.2 内力、截面法和轴力	(61)
§ 4.3 轴向拉伸时横截面和斜截面上的应力	(62)
§ 4.4 拉压杆的变形及虎克定律	(65)
§ 4.5 材料在拉压时的机械性质	(68)
§ 4.6 拉压杆的强度计算	(72)
习 题	(75)
第五章 剪切	(78)
§ 5.1 工程实际中的剪切问题	(78)
§ 5.2 剪切的实用计算	(79)
习 题	(84)
第六章 扭转	(87)
§ 6.1 扭转的概念和实例	(87)

§ 6.2	外力偶的计算、扭矩和扭矩图	(87)
§ 6.3	纯剪切	(89)
§ 6.4	圆轴扭转时的应力	(91)
§ 6.5	圆轴扭转时的变形与刚度计算	(96)
	习 题	(100)
第七章	平面弯曲	(102)
§ 7.1	平面弯曲的概念与实例	(102)
§ 7.2	梁的支座、载荷及梁的简化	(103)
§ 7.3	剪力和弯矩	(105)
§ 7.4	剪力图与弯矩图	(107)
§ 7.5	载荷集度·剪力和弯矩间的关系	(111)
§ 7.6	纯弯曲时梁横截面上的正应力	(113)
§ 7.7	常用截面的惯性矩·平行移轴公式	(118)
§ 7.8	弯曲正应力的强度条件及其应用	(122)
§ 7.9	提高梁的弯曲强度的措施	(123)
§ 7.10	弯曲变形计算	(126)
§ 7.11	梁的刚度条件·提高梁的刚度的主要措施	(133)
	习 题	(135)
第八章	应力状态及强度理论	(144)
§ 8.1	应力状态的概念	(144)
§ 8.2	平面应力状态	(145)
§ 8.3	空间应力状态	(151)
§ 8.4	材料的破坏形式	(154)
§ 8.5	强度理论	(155)
	习 题	(159)
第九章	组合变形构件的强度	(163)
§ 9.1	概述	(163)
§ 9.2	弯曲与拉伸(或压缩)的组合	(164)
§ 9.3	弯曲与扭转的组合	(169)
	习 题	(171)
第十章	交变应力概述	(175)
§ 10.1	引言	(175)
§ 10.2	疲劳破坏的特点与原因	(175)
§ 10.3	关于交变应力的若干名词和术语	(176)
§ 10.4	试件的疲劳极限·应力—寿命曲线	(177)
§ 10.5	影响疲劳极限的因素:构件的疲劳极限	(179)
§ 10.6	有限疲劳寿命的概念	(180)
§ 10.7	提高构件疲劳强度的途径	(182)
	习 题	(182)
第十一章	压杆的稳定	(184)
§ 11.1	压杆稳定的概念	(184)
§ 11.2	细长压杆的临界力	(186)
§ 11.3	欧拉公式的适用范围·中、小柔度杆的临界应力	(189)

§ 11.4	压杆的稳定计算	(193)
§ 11.5	提高压杆稳定性的措施	(195)
习 题	.....	(196)
第十二章	机器的组成和机械设计简介	(199)
§ 12.1	机器的组成及其设计方法	(199)
§ 12.2	机构及机构运动简图	(203)
§ 12.3	机械设计简介	(209)
习 题	.....	(211)
第十三章	标准件和常用件	(213)
§ 13.1	螺纹连接件	(213)
§ 13.2	键、花键和销	(229)
§ 13.3	联轴器和离合器	(235)
习 题	.....	(244)
第十四章	常用机构	(245)
§ 14.1	平面连杆机构	(245)
§ 14.2	凸轮机构	(253)
§ 14.3	其他机构	(258)
习 题	.....	(264)
第十五章	机械传动	(266)
§ 15.1	带传动	(266)
§ 15.2	齿轮传动	(276)
§ 15.3	蜗杆传动	(300)
§ 15.4	摩擦轮传动	(310)
§ 15.5	轮系	(312)
习 题	.....	(319)
第十六章	轴系零部件	(322)
§ 16.1	轴	(322)
§ 16.2	滑动轴承	(329)
§ 16.3	滚动轴承	(336)
习 题	.....	(347)
第十七章	金属材料与热处理基础	(350)
§ 17.1	金属材料的性能	(350)
§ 17.2	金属学基础	(352)
§ 17.3	钢的热处理	(360)
习 题	.....	(374)
第十八章	金属材料与粉末冶金材料	(376)
§ 18.1	钢铁材料概述	(376)
§ 18.2	常用钢	(379)
§ 18.3	铸铁	(389)
§ 18.4	铝及其合金	(394)
§ 18.5	铜及其合金	(397)
§ 18.6	滑动轴承合金	(400)
§ 18.7	粉末冶金材料	(401)

习 题	(402)
第十九章 非金属材料	(403)
§ 19.1 高分子材料	(403)
§ 19.2 陶瓷材料	(406)
§ 19.3 复合材料	(407)
习 题	(408)
第二十章 金属的液态成形	(410)
§ 20.1 金属的液态成形原理	(410)
§ 20.2 砂型铸造	(414)
§ 20.3 特种铸造	(416)
§ 20.4 铸造工艺新技术	(420)
习 题	(421)
第二十一章 金属的塑性成形	(422)
§ 21.1 金属塑性成形原理	(422)
§ 21.2 锻造成形	(427)
§ 21.3 板料冲压	(433)
§ 21.4 塑性成形加工先进工艺简介	(436)
习 题	(437)
第二十二章 材料的连接成形	(438)
§ 22.1 焊接概述	(438)
§ 22.2 焊条电弧焊	(439)
§ 22.3 其他焊接方法简介	(445)
§ 22.4 焊接新工艺简介	(447)
§ 22.5 胶接简介	(449)
习 题	(450)
第二十三章 材料和毛坯的选择	(451)
§ 23.1 材料的选择	(451)
§ 23.2 毛坯的选择	(454)
习 题	(455)
第二十四章 液压传动	(456)
§ 24.1 液压传动的基本知识	(456)
§ 24.2 液压元件	(460)
§ 24.3 液压辅助元件	(477)
§ 24.4 基本回路	(480)
§ 24.5 液压伺服(随动)系统	(485)
习 题	(487)
第二十五章 气压传动	(489)
§ 25.1 气压传动基本知识	(489)
§ 25.2 气动元件	(490)
§ 25.3 气动基本回路	(505)
习 题	(509)
附录一 平面图形的几何性质	(510)
参考文献	(519)

绪 论

当代国民经济和科学技术的飞速发展,对机械工业提出了更高的要求。要求它们为国民经济各部门提供性能优良、品种齐全、数量大、成本低,能满足人类生产和生活不同需要的优质机械产品。机械化程度的高低已经成为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。机械工程基础是机械工程中的应用科学,是工程类各专业的一门重要的技术基础课。

1. 本课程的研究对象

本课程的研究对象是机械及其构件,所谓机械是指机器与机构的总称,是人类进行生产劳动的主要工具,也是社会生产力发展的重要标志。远古就已知利用杠杆、滚子、绞盘等简单机械从事建筑和运输。现代的航空航天工业、核能原工业、海洋开发等尖端技术部门和日常的生活生产无不在使用着各种各样的机械设备。

2. 本课程的主要内容

(1)工程力学。主要介绍构件的受力分析,以及构件在外力作用下的变形、受力和破坏规律,强度、刚度和稳定性的计算方法。

(2)常用机构和机械传动。主要介绍一般机械中常用的平面连杆机构、凸轮机构等各种传动机构的工作原理、特点、应用及设计的基本知识。

(3)机械工程材料及热加工。主要介绍金属材料与热处理基础,常用钢铁材料、非铁金属材料和非金属材料的性能、用途以及铸造、锻压、焊接等成形工艺的基本知识。

(4)联接与轴系零部件。主要介绍螺纹联接、轴毂联结、联轴器、离合器、轴和轴承的结构、特点、标准及其选用和设计的基本方法。

(5)液压传动和气压传动,主要介绍液压元件、气压元件、液压辅助元件、液压回路、液压伺服系统和气压基本回路等。

3. 本课程的性质和任务

本课程是工程类各专业所必修的技术基础课程。它是研究机械零部件、主要机构和常用机械的工作原理、基本构造、主要技术性能及其选择运用的一门学科。本课程的特点是机械零部件、机构及常用机械类型多,实践性强。在学习过程中应着重于建立系统概念,掌握分析问题的方法。

本课程的主要任务。通过本课程学习,应使学生:

(1)基本具有分析和解决工程实际中简单的力学问题的能力,初步掌握构件强度和刚度的计算方法,能对其强度或工作能力进行简单的校核计算,并具有一定的实验能力。

(2)初步掌握常用机构和通用机械零件的基本知识,了解一般机械的基本知识;机械中通用零部件的工作原理、构造特点和选择使用方法,初步具有分析、选用和设计机械零件及简单传动装置的能力;能阅读和设计简单的机械传动装置系统图。

(3)基本掌握常用机械工程材料的性能、用途及选用原则,初步掌握机械零件毛坯的基本知识。

(4)初步了解液压传动的原理与特点;主要液压元件的基本构造、主要技术性能和选择使用的方法;并能阅读简单的液压系统图。

(5)基本具备机械化工程所需的机械及设备方面的知识、总体方案构思、提出设计任务与要求的能力和理论基础。

第一章 静力学公理和物体的受力分析

§ 1.1 力的概念

在我们生活的世界里,每时每刻都存在力的作用,人本身受到地球的引力而产生重力。人拉车前进,人对车施加了向前的拉力,使车产生运动,人拉橡皮筋使橡皮筋伸长,产生变形。力作用于物体上以后,使物体的机械运动状态发生了改变。由此,人们对力的概念作了如下定义:力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化。

物体之间的机械作用,大致可分为两类,一类是接触作用,例如拖拉机牵引农具作业的牵引力,人推物体前进的推力等。另一类是“场”对物体的作用,例如地球引力场对物体的引力,电场对电荷的引力或斥力等。尽管各种物体间相互作用力的来源和性质不同,但在力学中将撇开力的物理本质,只研究各种力的共同表现,即力对物体产生的效应;力对物体产生的效应一般可分为两个方面:一是物体运动状态的改变,称为力的运动效应。另一个是物体形态的改变,称为力的变形效应。静力学中把物体都视为刚体,所谓刚体是指这样的物体,在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变。通俗地讲,受力以后不变形的物体就是刚体,这是一个理想化的力学模型。

力对物体的作用效果应决定于三个要素:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点。

我们可用一个矢量来表示力的三个要素,如图 1.1 所示。矢量的长度(AB)按一定的比例尺表示力的大小;矢量的方向表示力的方向;矢量的始端(点 A)表示力的作用点;矢量 \vec{AB} 所沿着的直线(图 1.1 上的虚线)表示力的作用线。我们常用黑体字母 \mathbf{F} 表示力的矢量,而用普通字母 F 表示力的大小。若以 F^0 表示沿矢量 \mathbf{F} 方向的单位矢(图 1.2),则力矢 \mathbf{F} 可写成

$$\mathbf{F} = F\mathbf{F}^0$$

即力的矢量可以用它的模(即力的矢量的大小)和单位矢量的乘积表示。

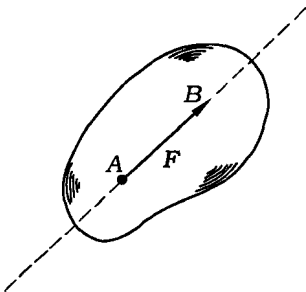


图 1.1

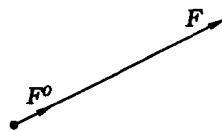


图 1.2

在国际单位制(SI)中,以“N”作为力的单位符号,称作牛[顿]。有时也以“kN”作为力的单位符号,称作千牛[顿]。

§ 1.2 静力学公理

公理是人们在生活和生产实践中经过对长期积累的经验的总结,再经过反复实践检验,被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

公理 1 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向,由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1.3a 所示。或者说,合力矢等于这两个力矢的几何和,即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1.1)$$

应用此公理求两汇交力合力的大小和方向(即合力矢)时,可由任一点 O 起,分别作一力三角形,如图 1.3b、c 所示。力三角形的两个边分别为力矢 \mathbf{F}_1 和 \mathbf{F}_2 ,第三边 \mathbf{F}_R 即代表合力矢,而合力的作用点仍在汇交点 A 。

这个公理表明了最简单力系的简化规则,它是复杂力系简化的基础。

公理 2 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要和充分条件是这两个力的大小相等,方向相反,且在同一直线上,如图 1.4 所示,即

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2 \quad (1.2)$$

这个公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。

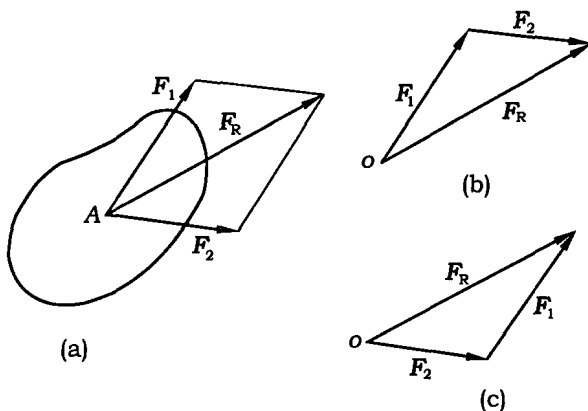


图 1.3

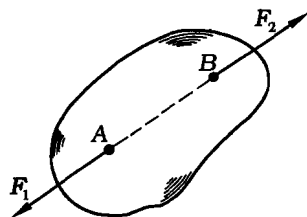


图 1.4

公理 3 加减平衡力系原理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。就是说,如果两个力系只相差一个或几个平衡力系,则它们对刚体的作用是相同的,因此可以等效替换。

这个公理是研究力系等效变换的重要依据。

根据上述公理可以导出下列 2 个推理:

推理 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用。

证明: 设有力 F 作用在刚体上的点 A , 如图 1.5a 所示。根据加减平衡力系原理, 可在力的作用线上任取一点 B , 并加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 , 使 $F = F_2 = -F_1$, 如图 1.5b 所示。由于力 F 和 F_1 也是一个平衡力系, 故可除去; 这样只剩下一个力 F_2 , 如图 1.5c 所示。于是, 原来的这个力 F 与力系 (F, F_1, F_2) 以及力 F_2 等效, 即原来的力 F 沿其作用线移到了点 B 。

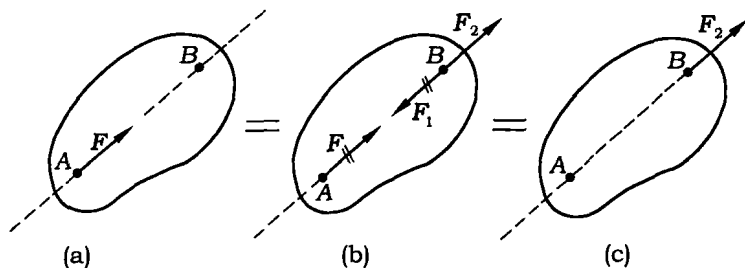


图 1.5

由此可见, 对于刚体来说, 力的作用点已不是决定力的作用效应的要素, 它已为作用线所代替。因此, 作用于刚体上的力的三要素: 力的大小、方向和作用线。

作用于刚体上的力可以沿着作用线移动, 这种矢量称为滑动矢量。

推理 2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上三个相互平衡的力, 若其中两个力的作用线汇交于一点, 则此三力必在同一平面内, 且第三个力的作用线通过汇交点。

证明: 如图 1.6 所示, 在刚体的 A, B, C 三点上, 分别作用三个相互平衡的力 F_1, F_2, F_3 。根据力的可传性, 将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O , 然后根据力的平行四边形法则, 得合力 F_{12} 。则力 F_3 应与 F_{12} 平衡。由于两个力平衡必须共线, 所以力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面, 且通过力 F_1 和 F_2 的交点 O 。于是定理得证。

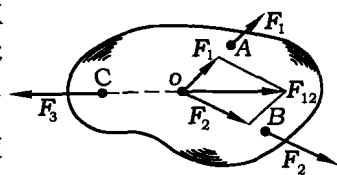


图 1.6

公理 4 作用力和反作用力定律

作用力和反作用力总是同时存在, 两力的大小相等、方向相反, 沿着同一直线, 分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理概括了物体间相互作用的关系, 表明作用力和反作用力总是成对出现的。下面举一个实例来说明。

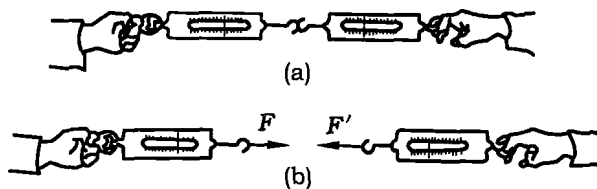


图 1.7

如图 1.7a, 将两弹簧秤钩在一起, 若施以一对拉力, 则两弹簧秤的读数相等, 这表示右弹簧秤施于左弹簧秤的作用力 F , 与左弹簧秤施于右弹簧秤的反作用力 F' 数值相等, 显然, 二者方向相反, 并作用于同一直线上(图 1.7b)。

作用力与反作用力是一个普遍的定律,在研究由几个物体构成的系统——物体系的受力时,常常用这个定律。这个定律指出,所有的力都是成对存在的,有作用力必有反作用力,单方面的作用是不存在的。

还应注意,由于作用力与反作用力分别作用在两个物体上,因此,不能认为作用力与反作用力相互平衡。

§ 1.3 约束和约束反力

有些物体,例如飞行的飞机、炮弹和火箭等,它们在空间的位移不受任何限制。位移不受限制的物体称为自由体。相反有些物体在空间的位移却要受到一定的限制。如车床尾架受导轨的限制,只能沿导轨运动;汽车传动轴受轴承的限制,只能绕轴线转动;重物由钢索吊住,不能下落等。位移受到限制的物体称为非自由体。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束。例如,导轨对于车床尾架,轴承对于汽车传动轴,钢索对于重物等,都是约束。

既然约束阻碍着物体的位移,也就是约束能够起到改变物体运动状态的作用,所以约束对物体的作用,实际上就是力,这种力称为约束反力,简称反力。因此,约束反力的方向必与该约束所能够阻碍的位移方向相反。应用这个准则,可以确定约束反力的方向或作用线的位置。至于约束反力的大小则是未知的。在静力学问题中,约束反力和物体受的其他已知力(称主动力)组成平衡力系,因此可用平衡条件求出未知的约束反力。

下面介绍几种在工程中常遇到的简单的约束类型和确定约束反力方向的方法。

1. 具有光滑接触表面的约束

例如,支持物体的固定面(图 1.8a、b)、啮合齿轮的齿面(图 1.9)、机床中的导轨等,当摩擦忽略不计时,都属于这类约束。

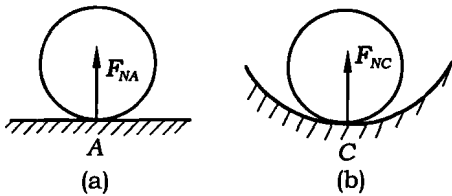


图 1.8

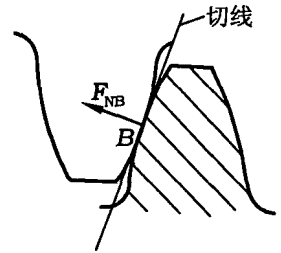


图 1.9

这类约束不能限制物体沿约束表面切线的位移,只能阻碍物体沿接触表面法线并向约束内部的位移。因此,光滑支承面对物体的约束反力,作用在接触点处,方向沿接触表面的公法线,并指向受力物体。这种约束反力称为法向反力,通常用 F_N 表示,如图 1.8 中的 F_{NA} 、 F_{NC} 和图 1.9 中的 F_{NB} 等。

2. 由柔软的绳索、链条或胶带等构成的约束

细绳吊住重物,如图 1.10a 所示。由于柔软的绳索本身只能承受拉力(图 1.10b),所以它给物体的约束反力也只能是拉力(图 1.10c)。因此,绳索对物体的约束反力,作用在接触点,方向沿着绳索背离物体。通常用 F 或 F_T 表示这类约束反力。

链条或胶带也都只能承受拉力。当它们绕在轮子上,对轮子的约束反力沿轮缘的切线方

向(1.11)。

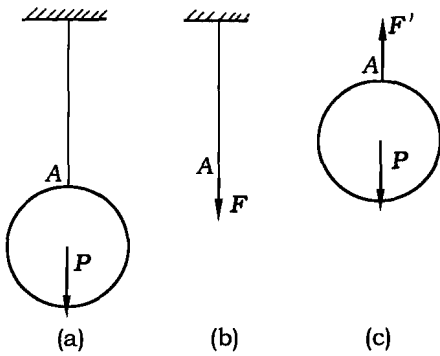


图 1.10

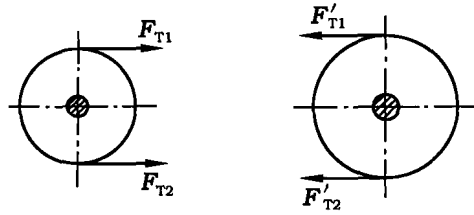


图 1.11

3. 光滑铰链约束

这类约束有向心轴承、圆柱形铰链和固定铰链支座等。

(1) 向心轴承(径向轴承)

图 1.12a、b 所示为轴承装置,可画成如图 1.12c 所示的简图。轴可在孔内任意转动,也可沿孔的中心线移动;但是,轴承阻碍着轴沿径向向外的位移。忽略摩擦,当轴和轴承在某点 A 光滑接触时,轴承对轴的约束反力 F_A 作用在接触点 A,且沿公法线指向轴心(图 1.12a)。

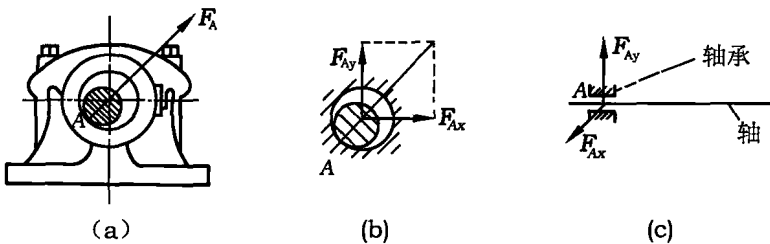


图 1.12

但是,随着轴所受的主动力不同,轴和孔的接触点的位置也随之不同。所以,当主动力尚未确定时,约束反力的方向预先不能确定。然而,无论约束反力朝向何方,它的作用线必垂直于轴线并通过轴心。这样一个方向不能预先确定的约束反力,通常可用通过轴心的两个大小未知的正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示,如图 1.12b 或 c 所示, F_{Ax} 、 F_{Ay} 的指向暂可任意假定。

(2) 圆柱铰链和固定铰链支座

图 1.13a 所示的拱形桥,它是由两个拱形构件通过圆柱铰链 C 以及固定铰链支座 A 和 B 连接而成。圆柱铰链简称铰链,它是由销钉 C 将两个钻有同样大小孔的构件连接在一起而成(图 1.13c),其简图如图 1.13a 的铰链 C。如果铰链连接中有一个固定在地面或机架上作为支座,则这种约束称为固定铰链支座。简称固定铰支,如图 1.13c 中所示的支座 A 或 B。其简图如图 1.13a 所示的固定铰链支座 A 和 B。

在分析铰链 C 处的约束反力时,通常把销钉 C 固连在其中任意一个构件上,如构件 II 上;则构件 I、II 互为约束。显然,当忽略摩擦时,构件 II 上的销钉与构件 I 的孔结合,实际上是轴与光滑孔的配合问题。因此,它与轴承具有同样的约束性质,虽然约束反力的作用线不能预先定出,但约束反力垂直轴线并通过铰链中心,故也可用两个大小未知的正交分力 F_{Cx} 、 F_{Cy} 和

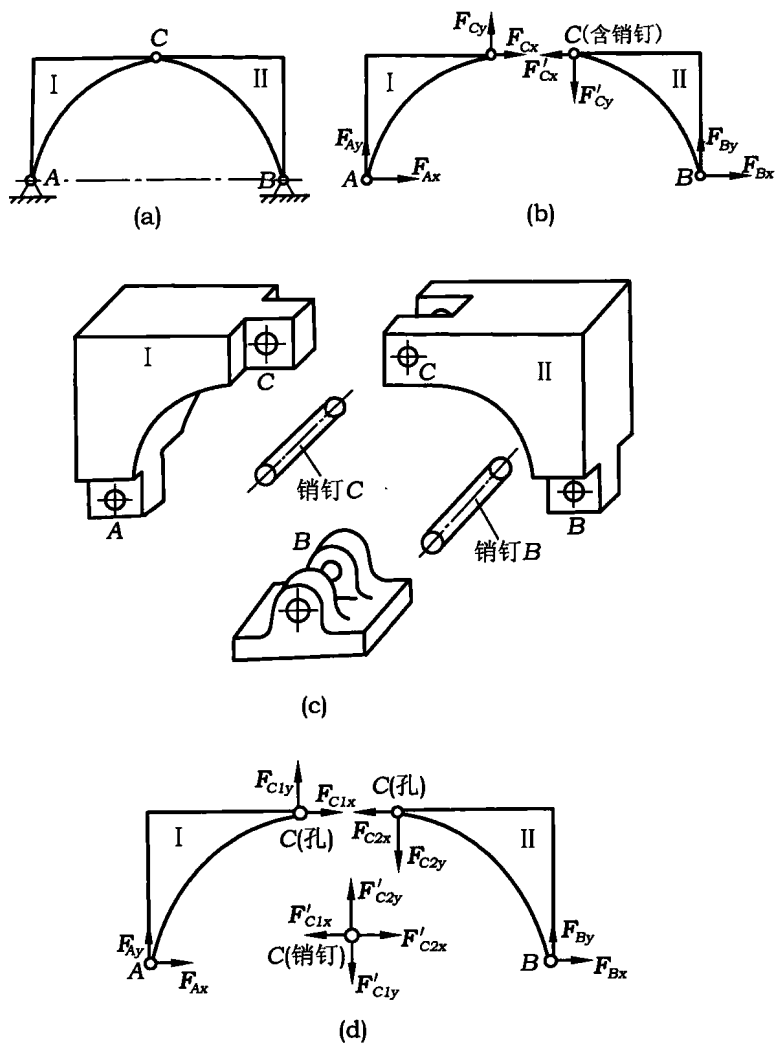


图 1.13

F'_{Cx} 、 F'_{Cy} 来表示,如图 1.13b 所示。其中 $F_{Cx} = -F'_{Cx}$ 、 $F_{Cy} = -F'_{Cy}$,表明它们互为作用与反作用关系。

同理,把销钉固连在 A、B 支座上,则固定铰支 A、B 对构件 I、II 的约束反力分别为 F_{Ax} 、 F_{Ay} 与 F_{Bx} 、 F_{By} ,如图 1.13b 所示。

当需要分析销钉 C 的受力时,才把销钉分离出来单独研究。这时,销钉 C 将同时受到构件 I、II 上的孔对它的反作用力。其中 $F_{C1x} = -F'_{C1x}$ 、 $F_{C1y} = -F'_{C1y}$,为构件 I 与销钉 C 的作用与反作用力;又 $F_{C2x} = -F'_{C2x}$ 、 $F_{C2y} = -F'_{C2y}$,则为构件 II 与销钉 C 的作用与反作用力。销钉 C 所受到的约束反力如图 1.13d 所示。

当将销钉 C 与构件 II 固连为一体时, F_{C2x} 与 F'_{C2x} 、 F_{C2y} 与 F'_{C2y} 为作用在同一刚体上的成对的平衡力,可以消去不画。此时,力的下角不必再区分为 C1 和 C2,铰链 C 处的约束反力仍如图 1.13b 所示。

上述三种约束(向心轴承、铰链和固定铰链支座),它们的具体结构虽然不同,但构成约束

的性质是相同的,都可表示为光滑铰链,此类约束的特点是只限制两物体径向的相对移动,而不限制两物体绕铰链中心的相对转动及沿轴向的位移。

4. 其他约束

(1) 滚动支座

在桥梁、屋架等结构中经常采用滚动支座约束。这种支座是在铰链支座与光滑支承面之间,装有几个辊轴而构成的,又称辊轴支座,如图 1.14a 所示,其简图如图 1.14b 所示。它可以沿支承面移动,允许由于温度变化而引起结构跨度的自由伸长或缩短。显然,滚动支座的约束性质与光滑面约束相同,其约束反力必垂直于支承面,且通过铰链中心。通常用 F_N 表示其法向约束反力,如图 1.14c 所示。

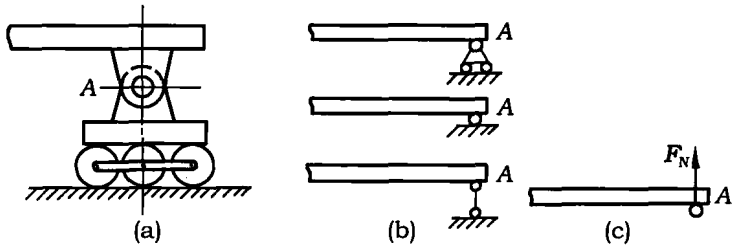


图 1.14

(2) 球铰链

通过圆球和球壳将两个构件连接在一起的约束称为球铰链,如图 1.15a 所示。它使构件的球心不能有任何位移,但构件可绕球心任意转动。若忽略摩擦,与圆柱铰链分析相似,其约束力应是通过球心但方向不能预先确定的一个空间力,可用三个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} 表示,其简图及约束反力如图 1.15b 所示。

(3) 止推轴承

止推轴承与径向轴承不同,它除了能限制轴的径向位移以外,还能限制轴沿轴向的位移。因此,它比径向轴承多一个沿轴向的约束力,即其约束反力有三个正交分量 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} 。止推轴承的简图及其约束反力如图 1.16 所示。

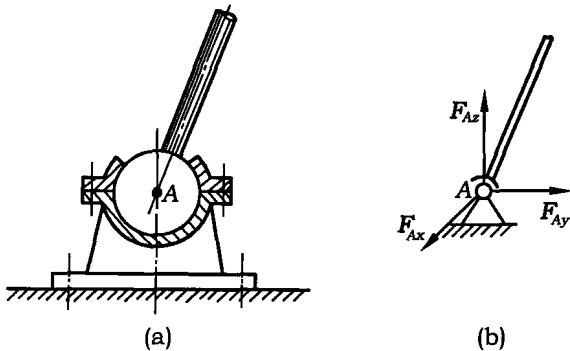


图 1.15

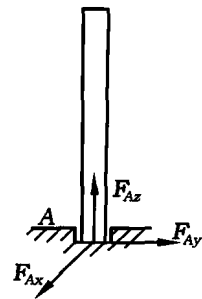


图 1.16

以上只介绍了几种简单约束,在工程中,约束的类型远不止这些,有的约束比较复杂,分析时需要加以简化或抽象化,在以后的某些章节中,我们将再作介绍。

§ 1.4 物体的受力和受力图

在工程实际中,为了求出未知的约束反力,需要根据已知力,应用平衡条件求解。为此,首先要确定构件受了几个力,每个力的作用位置和力的作用方向,这种分析过程称为物体的受力分析。

作用在物体上的力可分为两类:一类是主动力,例如物体的重力、风力、气体压力等,一般是已知的;另一类是约束对于物体的约束反力,为未知的被动力。

为了清晰地表示物体的受力情况,我们把需要研究的物体(称为受力体)从周围的物体(称为施力体)中分离出来,单独画出它的简图,这个步骤叫做取研究对象或取分离体。然后把施力物体对研究对象的作用力(包括主动力和约束反力)全部画出来。这种表示物体受力的简明图形,称为受力图。画物体受力图是解决静力学问题的一个重要步骤。下面举例说明。

例 1.1 用力 F 拉动碾子以压平路面,重为 P 的碾子受到一石块的阻碍,如图 1.17a 所示。试画出碾子的受力图。

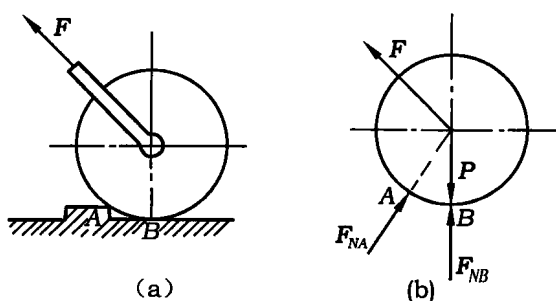


图 1.17

解: (1)取碾子为研究对象(即取分离体),并单独画出其简图。

(2)画主动力。有地球的引力 P 和杆对碾子中心的拉力 F 。

(3)画约束反力。因碾子在 A 和 B 两处受到石块和地面的约束,如不计摩擦,均为光滑表面接触,故在 A 处受石块的法向反力 F_{NA} 的作用,在 B 处受地面的法向反力 F_{NB} 的作用,它们都沿着碾子上接触点的公法线而指向圆心。碾子的受力图如图 1.17b 所示。

例 1.2 定滑轮在轮心 A 处受到平面铰链约束(图 1.18a),在绳的一端施一力 P 将重量为 G 的物体匀速吊起,设滑轮本身重量可以不计,滑轮与轴间的摩擦亦不计。试分别绘出重物和滑轮的受力图。

解: 将重物解除约束,取作分离体,作用在它上面的力有重力 G 和绳子的拉力 F ,如图 1.18b 所示。

将滑轮解除约束,取作分离体,作用在它上面的力有主动力 P 、绳子的拉力 F' 和平面铰链的约束反力 F_{Ax} 及 F_{Ay} ,如图 1.18c 所示。这里 F 和 F' 互为作用力和反作用力,二者大小相等、方向相反,作用在不同的物体上。

例 1.3 如图 1.19a 所示,水平梁 AB 用斜杆 CD 支撑, A 、 C 、 D 三处均为光滑铰链连接。均质梁重 P_1 其上旋转一重为 P_2 的电动机。如不计杆 CD 的自重,试分别画出杆 CD 和梁 AB (包括电动机)的受力图。

解: (1)先分析斜杆 CD 的受力。由于斜杆的自重不计,因此杆只在铰链 C 、 D 处受有两